



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 60 001 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 01 L 41/083**  
H 01 L 41/24  
H 01 L 41/047  
H 01 L 41/18

②① Aktenzeichen: 198 60 001.1  
②② Anmeldetag: 23. 12. 1998  
④③ Offenlegungstag: 6. 7. 2000

DE 198 60 001 A 1

⑦① Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE; Siemens  
Matsushita Comp. OHG, 81541 München, DE

⑦④ Vertreter:  
Zedlitz, P., Dipl.-Inf.Univ., Pat.-Anw., 80331  
München

⑦② Erfinder:  
Schuh, Carsten, Dr., 85598 Baldham, DE; Cramer,  
Dieter, Dipl.-Ing. (FH), 83607 Holzkirchen, DE;  
Lubitz, Karl, Dr., 85521 Ottobrunn, DE

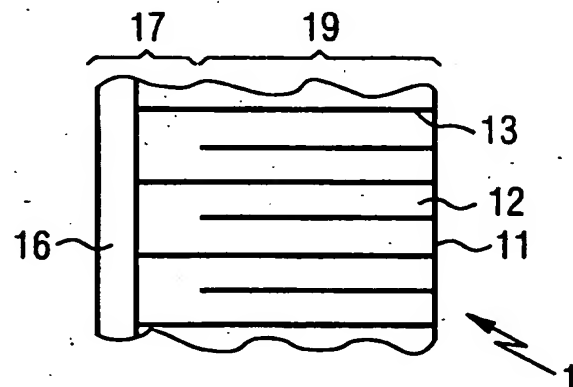
⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
DE 196 15 694 C1  
DE 197 15 487 A1  
DE 196 05 214 A1  
DE 39 40 619 A1  
JP 05-2 67 743 A

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Piezoelektrisches Bauelement, Verfahren zu dessen Herstellung und Verwendung eines derartigen Bauelements

⑤⑦ Es wird ein piezoelektrisches Bauelement in Form eines Aktors (1) mit einem monolithischen Vielschichtstapel (11) vorgestellt. Der Stapel weist eine große aktive Querschnittsfläche und gleichzeitig eine hohe Überschlagfestigkeit zwischen benachbarten Elektroden (131, 132) unterschiedlicher Polarität auf. Zur Herstellung wird nach einem Sintern eines Stapels aus von übereinander angeordneten Piezokeramiksichten (12) und Elektroden-schichten (13) nur die Oberfläche (14) des Stapels (11) abgeschliffen, über die eine elektrische Kontaktierung der Elektroden-schichten (13) erfolgt.



DE 198 60 001 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein piezoelektrisches Bauelement nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Ein Bauelement der genannten Art ist aus DE 196 15 694.7 bekannt. Neben dem Bauelement wird ein Verfahren zu dessen Herstellung und eine Verwendung eines derartigen Bauelements angegeben.

Ein piezoelektrisches Bauelement besteht beispielsweise aus einer Piezokeramikschiicht, die beidseitig mit einer metallischen Elektrodenschicht versehen ist. Wird an diese Elektrodenschichten eine unterschiedliche elektrische Spannung angelegt, so reagiert die Piezokeramikschiicht mit einer Gitterverzerrung. Als Folge davon expandiert und kontrahiert das Bauelement in einer Richtung, die durch die Anordnung der Piezokeramikschiicht und der Elektrodenschichten bestimmt ist.

Aus DE 196 15 694 ist ein piezoelektrisches Bauelement in Form eines Piezoaktors in monolithischer Vielschichtbauweise bekannt. Der Piezoaktor weist einen Stapel alternierender Elektroden und Piezokeramikschiichten auf. Eine Elektrodenschicht dient jeder benachbarten Piezokeramikschiicht als Elektrode. Dazu erfolgt eine elektrische Kontaktierung der Elektrodenschichten in einer alternierenden Polarität. Die alternierende Polarität wird mit Hilfe zweier Metallisierungstreifen erreicht, die seitlich am Stapel angebracht sind. Ein Metallisierungstreifen erstreckt sich über eine Höhe, die sich aus übereinander gestapelten, piezoelektrisch aktiven Schichten des Stapels ergibt. Der Stapel verfügt über eine quadratische Grundfläche. Die elektrische Kontaktierung der Elektrodenschichten erfolgt auf gegenüberliegenden Ecken des Stapels. Der Abstand von Elektrode zu Elektrode unterschiedlicher Polarität beträgt ca. 80 µm. Einer der Metallisierungstreifen ist mit jeder zweiten Elektrodenschicht elektrisch leitend verbunden und gegen jede dazwischen liegende erste Elektrodenschicht isoliert. Dagegen ist der zweite Metallisierungstreifen gegen jede zweite Elektrodenschicht isoliert und mit jeder ersten Elektrodenschicht elektrisch leitend verbunden. Eine Isolierung einer Elektrodenschicht gegenüber einer Metallisierung wird dadurch erreicht, daß die Elektrodenschicht in einem Bereich, in dem die Metallisierung angebracht ist, eine Aussparung aufweist. In diesem Bereich ist der Piezoaktor piezoelektrisch inaktiv, da hier keine Gitterverzerrung durch Anlegen einer Spannung hervorgerufen werden kann.

Für die Funktionsfähigkeit eines beschriebenen Piezoaktors ist es wichtig, daß jede Elektrodenschicht im piezoelektrisch inaktiven Bereich elektrisch kontaktiert ist. Gleichzeitig ist es wichtig, daß in einem piezoelektrisch aktiven Bereich ein elektrisches Überschlagen oder ein Kurzschluß vermieden wird. Im piezoelektrisch aktiven Bereich findet durch Anlegen einer Spannung an die Elektrodenschichten eine Gitterverzerrung statt. Ein Überschlagen kann zwischen benachbarten Elektrodenschichten oder einer Elektrodenschicht und einem beliebigen Elektrode des Piezoaktors auftreten. Ein Kurzschluß kann beispielsweise durch eine mechanische Beschädigung, eine Verschmutzung und eine Einwirkung von Luftfeuchtigkeit und/oder eines Betriebsstoffes (Diesel, Öl, etc.) hervorgerufen werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, aufzuzeigen, wie bei einem piezoelektrischen Bauelement eine sichere elektrische Kontaktierung jeder Elektrodenschicht hergestellt und gleichzeitig ein elektrisches Überschlagen zwischen Elektroden unterschiedlicher Polarität vermieden werden kann.

Zur Lösung der Aufgabe wird ein piezoelektrisches Bauelement nach Anspruch 1 angegeben. Gemäß dieser Lösung weist das Bauelement einen Stapel aus mindestens zwei Keramikschichten und einer zwischen zwei Keramikschichten angeordneten Elektrodenschicht auf, dadurch gekennzeichnet,

net, daß zwischen den Keramikschichten ein Zwischenraum vorhanden ist, der ein elektrisch isolierendes Material aufweist.

Das Bauelement ist beispielsweise in Piezoaktor, mit einem Stapel, der einen monolithischen Vielschichtverbund aus Keramik- und Elektrodenschichten aufweist.

Die grundlegende Idee der Erfindung besteht darin, ein piezoelektrisches Bauelement mit einer möglichst großen piezoelektrisch aktiven Querschnittsfläche anzugeben. Über diese Querschnittsfläche findet eine Gitterverzerrung der Piezokeramik statt. Gleichzeitig soll aber ein elektrisches Überschlagen zwischen Elektrodenschichten unterschiedlicher Polarität vermieden werden. Dies gelingt mit Hilfe eines angegebenen Zwischenraums. Deshalb ist der Zwischenraum bevorzugt in einem piezoelektrisch aktiven Bereich des Stapels angeordnet. Der Zwischenraum vergrößert eine effektive Wegstrecke von Elektrodenschicht zu Elektrodenschicht unterschiedlicher Polarität. Dadurch verringert sich beispielsweise die Wahrscheinlichkeit dafür, daß durch eine Verschmutzung ein elektrischer Kurzschluß zwischen den Elektroden auftritt.

In einer besonderen Ausgestaltung ist der Zwischenraum einseitig offen. Der Zwischenraum befindet sich an einer Seite des Stapels, insbesondere an einer Seite des piezoelektrisch aktiven Bereichs des Stapels.

In einer weiteren Ausgestaltung ist der Zwischenraum an einem Loch des Stapels angeordnet. Das Loch durchzieht den Stapel insbesondere senkrecht zur den Schichten des Stapels. Das Loch kann den Stapel ganz oder nur teilweise durchziehen.

Das Material des Zwischenraums weist beispielsweise ein Gas, insbesondere ein trockenes Gas auf.

In einer besonderen Ausgestaltung weist das Material des Zwischenraums einen Kunststoff auf. Bevorzugt ist die gesamte seitliche Oberfläche des Stapels mit einer Schutzschicht aus Kunststoff versehen. Das Material des Zwischenraums ist dabei Bestandteil der Schutzschicht. Die Schutzschicht hat die Aufgabe, die empfindliche, piezoelektrisch aktive Oberfläche des Piezoaktors vor Beschädigung, Verschmutzung und Einwirkung von Luftfeuchtigkeit und Betriebsstoffen zu schützen. Gleichzeitig fungiert die Schutzschicht in einem Zwischenraum als Isolator.

Als Kunststoff eignet sich insbesondere ein Silikonelastomer. Für einen Einsatz des Piezoaktors beispielsweise in einem Diesel-Einspritz-System ist eine Elastizität der Schutzschicht in einem weiten Temperaturbereich von -40°C bis +150°C gefordert. Diese Spezifikation wird von einem Silikonelastomer erfüllt.

In einer besonderen Ausgestaltung verfügt der Stapel über eine Keramikschicht, die ein Bleizirkonattitanat (PZT,  $\text{PbZr}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ ) aufweist. Eine Elektrodenschicht weist dabei insbesondere einen Stoff auf, der aus der Gruppe Palladium und/oder Silber ausgewählt ist. Von besonderem Vorteil ist eine Legierung aus den genannten Stoffen mit einem Verhältnis von Palladium zu Silber von 30 zu 70. Ebenso ist eine Elektrode denkbar, die Kupfer und/oder Nickel aufweist.

Zur Lösung der Aufgabe wird neben einem piezoelektrischen Bauelement ein Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Bauelements angegeben. Bei dem herzustellenden Bauelement sind Keramikschichten und Elektrodenschichten so zu einem Stapel angeordnet, daß an einer seitlichen Oberfläche eines piezoelektrisch inaktiven Bereichs des Stapels die Schichten bündig abschließen. Das Verfahren ist durch folgende Verfahrensschritte gekennzeichnet: a) Sintern eines Stapels aus mindestens zwei Keramikgrünfolien und einer dazwischen angeordneten Elektrodenschicht und b) Entfernen eines Materials einer Keramikschicht und/

oder einer Elektroden-schicht an einer seitlichen Oberfläche des inaktiven Bereichs des Stapels.

In einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung erfolgt das Entfernen durch Schleifen. Das Schleifen wird beispielsweise mit einem Diamantschleifwerkzeug durchgeführt. Eine relative Richtung des Schleifens kann in bezug auf eine Lage der Schichten des Stapels frei gewählt werden.

Insbesondere eine seitliche Oberfläche des piezoelektrisch aktiven Bereichs verbleibt in einem Zustand, wie er nach dem Sintern vorliegt (as fired). Diese Oberfläche des aktiven Bereichs wird also nicht abgeschliffen.

Vor dem Sintern wird ein Stapel aus Keramikgrünfolien und dazwischen angeordneten Elektroden-schichten hergestellt. Eine Herstellung dieses Stapels findet vorteilhaft im Nutzen (multi up) statt. Dabei werden größere Keramikgrünfolien und Elektroden-schichten übereinander zu einem Nutzenstapel angeordnet. Aus diesem Nutzenstapel werden die einzelnen zu sinternden Stapel abgetrennt. Dies erfolgt beispielsweise durch Schneiden, Stanzen oder Sägen. Dabei kann es zu einem Verschmieren von Elektrodenmaterial auf den Seitenflächen des Stapels kommen.

Besonders vorteilhaft ist eine Kombination von Bleizirkonattitanat-Keramik und einem Elektrodenmaterial in Form einer Legierung aus Palladium und Silber. Im Verlauf des gemeinsamen Sinterns wird das Silber des an der Oberfläche des Stapels verschmierten Elektrodenmaterials vollständig in die Bleizirkonattitanat-Keramik eingebaut. Auf der Oberfläche verbleiben lediglich Palladiuminseln, deren Größe zu gering ist, um als Auslöser für einen elektrischen Überschlag dienen zu können. Aufgrund eines Silbereinbaus in die Bleizirkonattitanat-Keramik, sowie eines veränderten Kornwachstums an einer freien Oberfläche eines Elektrodenmaterials zieht sich eine Elektroden-schicht im Verlauf des Sinterns etwas von der Seitenfläche des Stapels in das Innere des Stapels zurück (ca. 2–5 µm). Damit wird ein effektiver Abstand zweier benachbarter Elektroden-schichten unterschiedlicher Polarität an der Oberfläche vergrößert. Eine Überschlagfestigkeit steigt, d. h., daß eine Wahrscheinlichkeit für einen Kurzschluß sinkt. Dieser Effekt kann durch ein speziell angepaßtes Sinterprogramm noch verstärkt werden.

Unter einer reduzierenden Sinterbedingung läßt sich auch ein anderes Elektrodenmaterial wie Kupfer oder Nickel mit einem vergleichbaren Effekt verarbeiten.

Mit dem Verfahren kann ein piezoelektrisches Bauelement, insbesondere ein Piezoaktor mit einem monolithischen Vielschichtaufbau hergestellt werden. Ein derartiges piezoelektrisches Bauelement wird zur Ansteuerung eines Einspritzventils, insbesondere eines Einspritzventils einer Brennkraftmaschine verwendet.

Folgende Vorteile verbinden sich mit der beschriebenen Erfindung:

- Das piezoelektrische Bauelement zeichnet sich durch eine große aktive Querschnittsfläche und gleichzeitig durch eine hohe Überschlagfestigkeit im piezoelektrisch aktiven Bereich aus.
- Eine Elektroden-schicht kann optimal elektrisch kontaktiert werden. Die Oberfläche des piezoelektrisch inaktiven Bereichs wird nur abgeschliffen. Eine daraus resultierende Rauigkeit der Oberfläche verbessert eine Haftung einer Metallisierung auf der Oberfläche.
- Es wird auf eine Behandlung der Oberfläche des piezoelektrisch aktiven Bereichs wie Polieren verzichtet. Dadurch reduziert sich in einem Herstellungsverfahren eine Anzahl an Verfahrensschritten (Polieren, Reinigungsschritte). Das Verfahren ist einfach und kosten-

günstig.

– Nachdem nur die Oberfläche des inaktiven Bereichs abgeschliffen wird, ist auch ein piezoelektrisch aktiver Bereich des Bauelements mit einer komplizierten Oberfläche möglich.

– Die Oberfläche des piezoelektrisch aktiven Bereichs weist eine Rauigkeit auf, die einen Haftung einer Schutzschicht aus Kunststoff begünstigt.

– Bei einer nicht abgeschliffenen Oberfläche verringert sich im Vergleich zu einer abgeschliffenen oder polierten Oberfläche die Wahrscheinlichkeit dafür, daß sich an der Oberfläche ein Riß bildet, der zu einem Ausfall des piezoelektrischen Bauelements führen könnte.

Anhand mehrerer Ausführungsbeispiele und der dazugehörigen Zeichnungen wird im folgenden ein piezoelektrisches Bauelement in Form eines monolithischen Piezoaktors in Vielschichtbauweise und ein Herstellungsverfahren dieses Bauelements vorgestellt. Die Figuren sind schematisch und stellen keine maßstabsgetreuen Abbildungen dar.

Fig. 1 zeigt einen Piezoaktor in monolithischer Vielschichtbauweise von der Seite.

Fig. 2 zeigt einen Ausschnitt eines piezoelektrisch aktiven Bereichs eines Piezoaktors von der Seite.

Fig. 3 zeigt einen Ausschnitt eines piezoelektrisch inaktiven Bereichs eines Piezoaktors von der Seite.

Fig. 4 zeigt einen Piezoaktor mit einem Loch von oben.

Fig. 5 zeigt ein Flußdiagramm zur Herstellung eines piezoelektrischen Bauelements.

Fig. 6 zeigt ein Einspritzventil, in das ein Piezoaktor eingebaut ist.

Der Piezoaktor 1 besteht aus einem monolithischen Stapel 11 von Piezokeramikschieben 12 und dazwischen angeordneten Elektroden-schichten 13 (Fig. 1). Eine Piezokeramikschiebe 12 besteht aus einem Bleizirkonattitanat. Das Material einer Elektroden-schicht 13 umfaßt eine Palladium-Silber-Legierung mit einem Verhältnis von Palladium zu Silber von 30 zu 70. An einer seitlichen Oberfläche 14 des Stapels 11 ist ein Metallisierungsstreifen 16 angebracht. Der Metallisierungsstreifen 16 ist aus einer eingebrannten Silberpaste. Der Metallisierungsstreifen 16 kontaktiert nur jede zweite Elektroden-schicht 13 des Stapels 11. Daraus resultiert ein piezoelektrisch inaktiver Bereich 17 des Stapels 11.

Die Oberfläche 14 des piezoelektrisch inaktiven Bereichs 17 ist abgeschliffen, d. h., daß die Piezokeramikschieben 12 und die Elektroden-schichten 13 an der Oberfläche 14 bündig abschließen (Fig. 3). Die Schichten 12 und 13 bilden eine ebene Oberfläche 14. Die Oberfläche 18 des piezoelektrisch aktiven Bereichs 19 des Stapels 11 ist nicht abgeschliffen. Der Stapel 11 verfügt somit über zur seitlichen Oberfläche 18 hin offene Zwischenräume 20 zwischen zwei benachbarten Piezokeramikschieben 121 und 122.

Ein derartiger Zwischenraum 20 ist in Fig. 2 abgebildet. Der Zwischenraum ist mit einem Silikonelastomer 21 gefüllt. Mit Hilfe des Zwischenraums 20 ist der effektive Weg von Elektrode 131 zu Elektrode 132 unterschiedlicher Polarität besonders groß. Außerdem fungiert das Silikonelastomer 21 als Isolator. Die Wahrscheinlichkeit für ein elektrisches Überschlagen zwischen den beiden Elektroden 131 und 132 wird dadurch reduziert. Ebenso wird die Wahrscheinlichkeit für ein Überschlagen einer Elektroden-schicht 13 zu einer beliebigen Elektrode oder einem beliebigen elektrischen Anschluß des Bauelements verringert.

Ein anderes Ausführungsbeispiel unterscheidet sich vom vorhergehenden dadurch, daß Stapel 11 des Piezoaktors 1 über ein Loch 22 verfügt, an dem der Zwischenraum 20 angeordnet ist (Fig. 4).

Aus Fig. 5 geht ein Herstellungsverfahren eines beschriebenen Piezoaktors 1 in monolithischer Vielschichtbauweise hervor. In einem ersten Verfahrensschritt 301 wird ein Stapel aus Keramikgrünfolien und dazwischen angeordneten Elektrodenschichten entbindert und gesintert. In einem weiteren Verfahrensschritt 302 wird nur die Oberfläche 14 abgeschliffen, die zu einer elektrischen Kontaktierung der Elektrodenschichten 13 vorgesehen ist. Dagegen bleibt eine Oberfläche 18 des piezoelektrisch aktiven Bereichs 19 unbehandelt. Das Schleifen 302 erfolgt mit einem Diamantschleifwerkzeug.

Nach dem Schleifen 302 kann ein Passivieren des Piezoaktors erfolgen. Dabei wird die Oberfläche des Piezoaktors mit einer Schutzschicht aus einem Silikonelastomer überzogen. Während dieses Verarbeitungsschritts wird ein Zwischenraum 20 automatisch mit dem Kunststoff gefüllt.

Ein Piezoaktor 1 in monolithischer Vielschichtbauweise wird zur Ansteuerung eines Einspritzventils 30 (Fig. 4) einer Brennkraftmaschine benutzt. Dabei ist der Piezoaktor beispielsweise über einen Kolben 31 mit einer Düsenadel 32 des Einspritzventils 30 verbunden.

#### Patentansprüche

1. Piezoelektrisches Bauelement (1) mit einem Stapel (11) aus
  - mindestens zwei Keramikschichten (12) und
  - einer zwischen zwei Keramikschichten (12) angeordneten Elektrodenschicht (13), **dadurch gekennzeichnet**, daß
  - zwischen den Keramikschichten (12) ein Zwischenraum (20) vorhanden ist, der ein elektrisch isolierendes Material (21) aufweist.
2. Bauelement nach Anspruch 1, bei dem der Zwischenraum (20) in einem piezoelektrisch aktiven Bereich (19) des Stapels (11) angeordnet ist.
3. Bauelement Anspruch 1 oder 2, bei dem der Zwischenraum (20) einseitig offen ist.
4. Bauelement einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem das Material (21) ein Gas aufweist.
5. Bauelement einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem das Material (21) einen Kunststoff aufweist.
6. Bauelement nach Anspruch 5, bei dem der Kunststoff ein Silikonelastomer aufweist.
7. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem eine Keramikschicht (12) ein Bleizirkonattitanat aufweist.
8. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem eine Elektrodenschicht (13) einen Stoff aufweist, der aus der Gruppe Kupfer, Nickel, Palladium und/oder Silber ausgewählt ist.
9. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem der Stapel (11) einen monolithischen Vielschichtverbund aufweist.
10. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem der Zwischenraum (20) an einem Loch (22) des Stapels (11) angeordnet ist.
11. Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Bauelements, bei dem Keramikschichten (12) und Elektrodenschichten (13) so zu einem Stapel (11) angeordnet sind, daß an einer seitlichen Oberfläche (14) eines piezoelektrisch inaktiven Bereichs (17) des Stapels (11) die Schichten (12, 13) bündig abschließen, insbesondere eines Bauelements nach einem der Ansprüche 1 bis 10, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:
  - a) Sintern eines Stapels aus mindestens zwei Keramikgrünfolien und einer dazwischen angeordneten Elektrodenschicht und
  - b) Entfernen eines Materials einer Keramikschicht und/oder einer Elektrodenschicht an einer seitlichen Oberfläche des inaktiven Bereichs des Stapels.
12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei das Entfernen durch Schleifen erfolgt.
13. Verwendung eines piezoelektrischen Bauelements nach einem der Ansprüche 1 bis 10 zur Ansteuerung eines Einspritzventils (30), insbesondere eines Einspritzventils einer Brennkraftmaschine.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

FIG 1

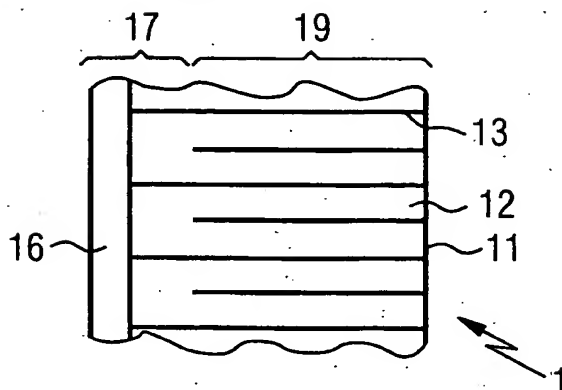


FIG 2

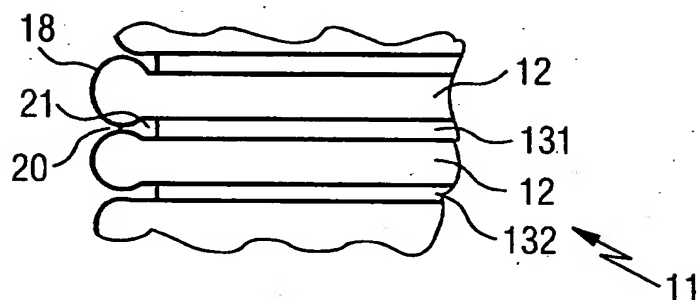


FIG 3

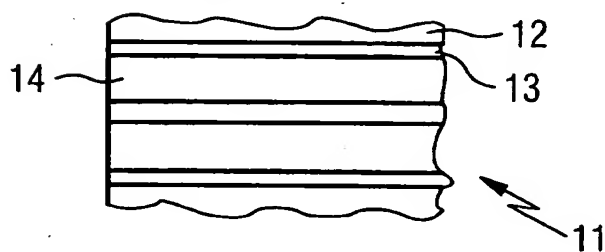


FIG 4

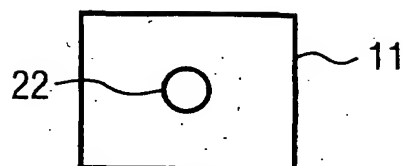


FIG 5

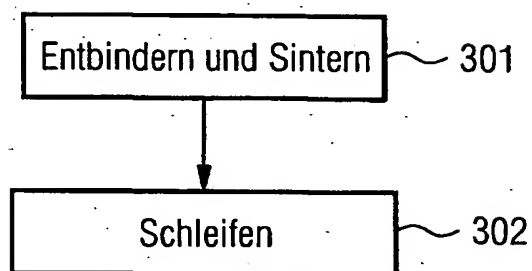


FIG 6

